

Docket No. 0557-4357-2

JC551 U.S. PTO
09/063391
04/21/98

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IDENTIFIER: 0557-4357-2

GROUP ART UNIT:

SERIAL NUMBER: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: MAGNETO-OPTICAL DEVICE

REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO.</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	9-117626	APRIL 21, 1997
JAPAN	NOT YET ASSIGNED	MARCH 30, 1998

Certified copies of the corresponding Convention Applications will be submitted prior to payment of the Final Fee.

Respectfully submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Marvin J. Spivak
Marvin J. Spivak
Attorney of Record
Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland
Registration Number 21,124

Fourth Floor
1755 Jefferson Davis Highway
Arlington, Virginia 22202
(703) 413-3000
Fax No. (703) 413-2220

(OSMMN 1/97)

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気光学素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 可視光に対して透明な基板に、幅 5 ~ 100 nm、高さ 0.1 ~ 5 μm の細線状の強磁性体薄膜が 0.2 ~ 2 μm の等間隔で直線状にかつ互いに平行になるように複数列形成されていることを特徴とする磁気光学素子。

【請求項 2】 強磁性体薄膜が、可視光に対して透明な基板の表面に直線状にかつ互いに平行になるように複数列設けられた凹形の溝の側壁面に形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の磁気光学素子。

【請求項 3】 凹形の溝の側壁面が基板面に垂直であることを特徴とする請求項 2 記載の磁気光学素子。

【請求項 4】 可視光に対して透明な基板の一方の面に光反射膜が設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の磁気光学素子。

【請求項 5】 光反射膜が設けられている面とは反対側の面に光反射防止膜が設けられていることを特徴とする請求項 4 記載の磁気光学素子。

【請求項 6】 強磁性体薄膜が導電性を有することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の磁気光学素子。

【請求項 7】 強磁性体薄膜が平均粒子径 2 ~ 20 nm の大きさの Fe、Co、Ni 又はこれらの合金の超微粒子を含有することを特徴とする請求項 6 記載の磁気光学素子。

【請求項 8】 強磁性体薄膜に接触して同じ高さで幅 5 ~ 10 nm の非磁性半導体膜又は非磁性金属膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の磁気光学素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は磁気光学素子に関し、詳しくは、特に透明性に優れ、磁気ヘッドによって記録、読み出し（記録の再生）、記録の消去が繰り返し行なえ、また偏光子としても使用でき、さらに磁場と光を与えることによって画像を可視化できるデ

ディスプレイなどへの応用にも適した磁気光学素子に関する。また、空間光変調素子や磁界センサーなどへの応用にも適した磁気光学素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

磁性体を磁化し、磁化方向に並行に直線偏光を入射させると、その直線偏光は磁性体を通過することによって光の偏光面が回転されることはファラデー効果として知られている。そして、このファラデー効果を有する材料を用いて磁気記録媒体、空間光変調素子などがつくられている。

例えば、(1)特開昭56-15125号にはイットリウムおよび希土類鉄ガーネットとその誘導体を用いた磁気記録媒体、(2)特開昭61-89605号には六方晶フェライトを用いた磁気記録媒体、(3)特開昭62-119758号にはイットリウム鉄ガーネット粒子を用いた塗布型磁気記録媒体、(4)特開平4-132029号には希土類鉄ガーネット微粒子を用いた塗布型磁気記録媒体、などが紹介されている。

これらの磁気記録媒体は、磁性体あるいは磁性体微粒子を基体上に薄膜状に記録層として形成した構造を有している。

これらの磁気記録媒体によれば、記録、読み出し(記録の再生)、記録の消去を良好に行うことができる。しかしその反面、これらの磁気記録媒体は、上記の記録、読み出し(記録の再生)、記録の消去の使用に限られてしまい、他の用途、特にディスプレイへの応用や転用には不向きであるといった欠点がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、磁気ヘッドによって記録、読み出し(記録の再生)、記録の消去を行うことができ、偏光子としても用いることが可能であり、また磁場と光を与えることによって画像を可視化できるディスプレイなどとして応用しうる磁気光学素子を提供することにある。

本発明の他の目的は印加磁界強度に対する分解能がよく、印加磁界強度の僅かの差でも画像のコントラストとして可視化することができる磁気光学素子を提供することにある。

本発明のさらに他の目的は、空間光変調素子や磁界センサーなどへの応用にも適した磁気光学素子を提供することにある。

【0004】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、第一に、可視光に対して透明な基板に、幅5～100nm、高さ0.1～5μmの細線状の強磁性体薄膜が0.2～2μmの等間隔で直線状にかつ互いに平行になるように複数列形成されていることを特徴とする磁気光学素子が提供される。

【0005】

第二に、上記第一の磁気光学素子において、強磁性体薄膜が、可視光に対して透明な基板の表面に直線状にかつ互いに平行になるように複数列設けられた凹形の溝の側壁面に形成されていることを特徴とする磁気光学素子が提供される。

【0006】

第三に、上記第二の磁気光学素子において、凹形の溝の側壁面が基板面に垂直であることを特徴とする磁気光学素子が提供される。

【0007】

第四に、上記第一乃至第三のいずれかの磁気光学素子において、可視光に対して透明な基板の一方の面に光反射膜が設けられていることを特徴とする磁気光学素子が提供される。

【0008】

第五に、上記第四の磁気光学素子において、光反射膜が設けられている面とは反対側の面に光反射防止膜が設けられていることを特徴とする磁気光学素子が提供される。

【0009】

第六に、上記第一乃至第五のいずれかの磁気光学素子において、強磁性体薄膜が導電性を有することを特徴とする磁気光学素子が提供される。

【0010】

第七に、上記第六の磁気光学素子において、強磁性体薄膜が平均粒子径2～20nmの大きさのFe、Co、Ni又はこれらの合金の超微粒子を含有すること

を特徴とする磁気光学素子が提供される。

【0011】

第八に、上記第一乃至第五のいずれかの磁気光学素子において、強磁性体薄膜に接触して同じ高さで幅5～10nmの非磁性半導体膜又は非磁性金属膜が形成されていることを特徴とする磁気光学素子が提供される。

【0012】

本発明の磁気光学素子は、可視光に対して透明な基板に、幅5～100nm、高さ0.1～5μmの細線状の強磁性体薄膜が0.2～2μmの等間隔で直線状にかつ互いに平行になるように基板の水平方向に複数列設けられていることから、高い光透過率と磁気光学効果による大きな偏光機能が同時に得られ、磁化部と非磁化部に可視光の透過と不透過の高いコントラストができる、大面積の磁気光学素子に可視化できる画像等を記録することが可能であり、ディスプレイ等として応用することができる。

また、本発明の磁気光学素子は、印加磁界強度に対する分解能がよく、印加磁界強度の僅かの差でも画像のコントラストとして可視化することができる。

【0013】

【発明の実施の形態】

本発明の磁気光学素子は、基本構成として、可視光に対して透明な基板に、幅5～100nm、高さ0.1～5μmの細線状の強磁性体薄膜を0.2～2μmの等間隔で基板の水平方向に複数列設けたものである。

【0014】

実験によれば、本発明の磁気光学素子に光を照射した場合、基板平面上の同一照射面積において、細線状の強磁性体薄膜の高さが高く、強磁性体薄膜の間隔が狭いほど、すなわちアスペクト比（強磁性体薄膜の高さ／強磁性体薄膜の間隔）が大きいほど偏光度が向上する。本発明では偏光度が40%以上の値を得られるようになった。

【0015】

図1は本発明の磁気光学素子の一例を模式的に示す拡大断面図である。

図1において、可視光に対して透明な基板1に、幅Mが5～100nm、高さ

Hが0.1～5μmの細線状の強磁性体薄膜4が0.2～2μmの等間隔、すなわちL₁=L₂でL₁およびL₂が0.2～2μmの範囲となるように、直線状にかつ互いに平行になるように複数列形成されている。

強磁性体薄膜4は、可視光に対して透明な基板1の表面に直線状にかつ互いに平行になるように複数列設けられた凹形の溝3の基板面に垂直な側壁面2に形成されている。

【0016】

図2は、図1の磁気光学素子を模式的に示す拡大平面図であり、可視光に対して透明な基板1の表面に直線状にかつ互いに平行になるように複数列設けられた凹形の溝3の基板面に垂直な側壁面2に、細線状の強磁性体薄膜4が形成されている。

【0017】

図3は本発明の磁気光学素子の他の例を模式的に示す拡大断面図である。

図3において、可視光に対して透明な基板1の表面に直線状にかつ互いに平行な凹形の溝3が複数列設けられ、溝3の基板面に垂直な側壁面2に強磁性体薄膜4が幅Mが5～100nm、高さHが0.1～5μmの細線状に形成されており、細線状の強磁性体薄膜4は0.2～2μmの等間隔、すなわちL₁=L₂でL₁およびL₂が0.2～2μmの範囲となるように形成されている。

【0018】

そして、基板1の一方の面に光反射膜6が設けられ、光反射膜6が設けられている面とは反対側の面に反射防止膜7が設けられている。

光反射膜6は、別の基板1A上に形成された光反射膜6を基板1の一方の面に張り合わせることにより設けることができる。

なお、図1および図3において、符号5は、細線状の強磁性体薄膜4を有する偏光・磁性層であり、文字通り、偏光層と磁性層とを兼ね備えた層である。

【0019】

細線状の強磁性体薄膜4の幅(M)は5～100nmが適当である。幅が5nm未満では磁気光学効果が弱くなりディスプレイ等に応用することが困難である。また、100nmを越えるようになると可視光域での偏光機能が低下し、また

透明性も低下して50%以上の光透過率が得られず、ディスプレイ等に応用することが困難である。

【0020】

細線状の強磁性体薄膜4の高さ(H)は0.1~5μmが適当である。この高さによって磁気光学効果による偏光面回転角の増大が制御できるため、画像のコントラスト設計等が行いやすくなる。高さ(H)が0.1μm未満となると強磁性体の連続層を有する一般の磁気記録媒体並の効果(偏光機能・磁性機能)しか発揮されず、また5μmを越えるようになると透明性が低下してディスプレイ等としての利用が困難になる。

【0021】

細線状の強磁性体薄膜4の間隔(L)は0.2~2μmが適当である。間隔(L)が0.2μm未満となると透明性が低下し、また偏光機能が低下してディスプレイや偏光子などとしての利用が困難になる。

間隔(L)が2μmを越えるようになると偏光機能が強磁性体の連続ベタ膜と同じようになってしまいディスプレイや偏光子などとして利用することが困難になる。

【0022】

なお、幅5~100nm、高さ0.1~5μmの細線状の強磁性体薄膜4は直線状にかつ互いに平行になるように基板の水平方向に複数列形成されており、強磁性体薄膜は基板面に対して垂直になるように設けられるのが望ましいが、強磁性体薄膜の若干の倒れ、曲がり、強磁性体薄膜の間隔の若干のバラツキは機能面に影響を与えない。

【0023】

溝3の中は、空洞でもよいし、可視光に対して透明な基板と異なる屈折率を有する透明材料で埋められていてもよい。このような透明材料としては、例えば、後記表1の材料を用いることができる。溝3の中を可視光に対して透明な基板と屈折率が同じ透明材料で埋めると、光の干渉による回折が生じず、大きな磁気光学効果が得られない。

【0024】

本発明の磁気光学素子における透明基板としては、石英ガラス、サファイア、結晶化透明ガラス、パイレックスガラス、 Al_2O_3 、 MgO 、 BeO 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 、 $\text{ThO}_2 \cdot \text{GaO}$ 、GGG（ガドリニウム・ガリウム・ガーネット）などの無機透明材料やMMA、PMMA、ポリカーボネート、ポリプロピレン、アクリル系樹脂、ステレン系樹脂、ABS樹脂、ポリアリレート、ポリスチレン、ポリサルファン、ポリエーテルサルファン、エポキシ樹脂、ポリ-4-メチルペンテン-1、フッ素化ポリイミド、フッ素樹脂、フェノキシ樹脂、ポリオレフィン系樹脂、ナイロン樹脂等の透明プラスチックフィルムが用いられる。透明プラスチックフィルムを用いると、軽い、曲げやすい等の利点がある。

【0025】

透明基板の厚さは50～500μmが適当であり、薄いほど記録等のために用いる磁気ヘッドと偏光・磁性層5との距離が近くなり好ましい。透明基板の厚さが500μmより厚くなるようであれば、例えば図3の磁気光学素子における反射層6側から磁気ヘッドによって記録することも可能である。

【0026】

本発明の磁気光学素子における強磁性体薄膜4の材料としては、磁気光学効果が大きく、膜面内に磁気異方性を有し、保磁力が200～2000エルステッドと記録に適しているものが好ましい。また、偏光・磁性層5は偏光子としての機能をも有することから、強磁性体薄膜4は光の電界によって電子が移動できる導電性を有する材料で形成されていることが必要である。

【0027】

このため、強磁性体薄膜が酸化物磁性体などの絶縁体（例えば Fe_2O_3 、 CoFe_2O_4 、 $\text{Bi}_2\text{DyFe}_{3.8}\text{Al}_{1.2}\text{O}_{12}$ など）で構成されるときは、その酸化物磁性体薄膜に非磁性半導体膜あるいは非磁性金属膜を重ねるようにして設けて電子移動層を形成することが必要である。この電子移動層が厚くなると光の吸収が大きくなるので、電子移動層は薄いほど好ましく、また強磁性体薄膜以外に電子移動層を設ける必要がないように強磁性体薄膜を導電性を有する材料で形成することが好ましい。

図4は、非磁性半導体膜あるいは非磁性金属膜を設けた強磁性体薄膜の一例を

模式的に示す拡大断面図である。

非磁性半導体膜あるいは非磁性金属膜8を酸化物磁性体薄膜4Åに接して重ねて設けるには、図4(a)のように溝の側壁面に形成された酸化物磁性体薄膜4Å上に非磁性半導体膜あるいは非磁性金属膜8を設けても、また図4(b)のように溝の側壁面に形成された非磁性半導体膜あるいは非磁性金属膜8上に酸化物磁性体層4Åを設けてもよい。

【0028】

また、強磁性体薄膜は透明性が高いことが好ましい。本発明における強磁性体薄膜の材料としては、従来一般に用いられている磁気光学効果を示す透明磁性材料を挙げることができるが、ファラデー効果が大きくて透明性の大きい、いわゆる性能指数の大きい磁性材料が好ましい。

【0029】

このような磁性材料からなる強磁性体薄膜としては、平均粒子径2~20nmの大きさの鉄(Fe)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)等の強磁性金属の超微粒子、またはこれら強磁性金属の合金の超微粒子を含有する薄膜が好ましい。

これらの強磁性体薄膜は、ガス中蒸着法を用いて形成することができるが、蒸着する際に、希ガス中に僅かに(数100mtorr)空気を導入すると好ましく製膜することができる。この場合、強磁性体薄膜は金属や合金の超微粒子以外の組成として酸素や炭素などを含有する。

【0030】

鉄、コバルト、ニッケル等の強磁性金属は大きな磁気光学効果を示すが、光の吸収も大きいため、そのままの金属薄膜では本発明の強磁性体薄膜として用いることが困難であるが、強磁性金属の超微粒子を含有する薄膜とすることにより大きな性能指数を有するようになり、本発明の強磁性体薄膜として好適である。

【0031】

また、強磁性体薄膜における超微粒子の粒子径を制御することによって適当な保磁力を得ることができ、超微粒子間の距離を制御することによって膜面に対する磁気異方性を制御することができる。

さらに、強磁性金属の超微粒子、または強磁性金属の合金の超微粒子を含有する強磁性体薄膜は、金属であるため良好な導電体であり、偏光子としての機能をも有する偏光・磁性層5における強磁性体薄膜としてそのまま用いることができるので極めて好ましい。

【0032】

強磁性体薄膜の材料としては、上記のほかに希土類鉄ガーネットやコバルトフェライト、Baフェライト等の酸化物、 Fe_2O_3 、 FeF_3 、 YFeO_3 、 NdFeO_3 などの複屈折の大きな材料、 MnBi 、 MnCuBi 、 PtCo などの透明磁性材料が挙げられる。磁気光学効果は、光の進行方向とスピノの方向とが平行の場合に最も大きな効果が得られるので、これらの材料は膜面内に磁気異方性を有することが好ましい。

【0033】

これらの透明磁性材料を用いて強磁性体薄膜を形成するには、一般的なスパッタリング法、真空蒸着法、MBE等のPVD法やCVD法、メッキ法などが用いられる。

【0034】

また、本発明の磁気光学素子における光反射層は、特定の可視光域波長に高い反射率を有する材料、例えばCu、Al、Ag、Au、Pt、Rh、 TeO_x 、 TeC 、 SeAs 、 TeAs 、 TiN 、 TaN 、 CrN 等を用い、真空蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法などにより形成することができる。膜厚としては50～100nmが好ましい。この他にも、 SiO_2 、 TiO_2 などの交互多層膜、金属と誘電体の交互多層膜、傾斜型反射板、ホログラム反射板（日本ポラロイド社製「ホロブライト」等）なども使用できる。

【0035】

更に本発明の磁気光学素子においては、光の透過率を向上させ、化学的腐食や光による化学的变化からの防止を図るうえから、光反射膜が設けられている面とは反対側の面に光反射防止膜を設けることが好ましく、磁気光学素子をディスプレイとして使用する場合には、特に望ましい。光反射防止膜は、下記表1にあげた材料などを用い、真空蒸着法などによって形成することができる。

[表 1]

反射防止膜に用いられる薄膜物質の屈折率と透明波長域

	薄膜物質	屈折率(波長 nm)	透明波長域
$n < 1.5$	calcium fluoride(CaF ₂)	1.28~1.26(546)	150nm~12 μ m
	sodium fluoride(NaF)	1.34 (550)	250nm~14 μ m
	cryolite(Na ₃ AlF ₆)	1.35 (550)	<200nm~14 μ m
	lithium fluoride(LiF)	1.36~1.37(546)	110nm~7 μ m
	magnesium fluoride(MgF ₂)	1.38 (550)	210nm~10 μ m
	silicon dioxide(SiO ₂)	1.46 (500)	<200nm~8 μ m
$1.5 < n < 2$	lanthanum fluoride(LaF ₃)	1.59 (550)	220nm~>2 μ m
	neodymium fluoride(NdF ₃)	1.6 (550)	220nm~>2 μ m
	aluminum oxide(Al ₂ O ₃)	1.62 (600)	
	cerium fluoride(CeF ₃)	1.63 (550)	300nm~>5 μ m
	lead fluoride(PbF ₂)	1.75 (550)	240nm~>20 μ m
	magnesium oxide(MgO)	1.75 (500)	
	thorium oxide(ThO ₂)	1.8 (550)	250nm~>2 μ m
	tin oxide(SnO ₂)	1.9 (550)	
	lanthanum oxide(La ₂ O ₃)	1.95 (550)	350nm~>2 μ m
	silicon monoxide(SiO)	1.7~2.0 (550)	500nm~8 μ m
$2 < n < 3$	indium oxide(In ₂ O ₃)	2.0 (500)	
	neodymium oxide(Nd ₂ O ₃)	2.0 (550)	400nm~>2 μ m
	antimony trioxide(Sb ₂ O ₃)	2.40 (546)	300nm~>1 μ m
	zirconium oxide(ZrO ₂)	2.1 (550)	
	cerium dioxide(CeO ₂)	2.2 (550)	400nm~10 μ m
	titanium dioxide(TiO ₂)	2.2~2.7 (550)	350nm~12 μ m
	zinc sulfide(ZnS)	2.35 (550)	380nm~25 μ m
	bismuth oxide(Bi ₂ O ₃)	2.45 (550)	
	zinc selenide(ZnSe)	2.58 (633)	600nm~>15 μ m
	cadmium sulfide(CdS)	2.6 (600)	600nm~7 μ m
$3 < n$	antimony sulfide(Sb ₂ S ₃)	3.0 (589)	500nm~10 μ m
	cadmium telluride(CdTe)	3.05 (IR)	
	silicon(Si)	3.5	1.1nm~10 μ m
	germanium(Ge)	4.0	1.7nm~100 μ m
	tellurium(Te)	4.9 (6 μ m)	3.4nm~20 μ m
	lead telluride(PbTe)	5.5	3.4nm~80 μ m

【0037】

本発明の磁気光学素子が偏光機能を有することは前記の通りであるが、偏光機能を更に強化したい場合などには、磁気光学素子に偏光子層を別個に設けてよい。偏光子層としては、各種の市販のフィルム偏光板や、ビームスプリッターを用いた高透過率偏光子などを用いることができる。フィルム偏光板には大別して多ハロゲン偏光フィルム、染料偏光フィル、金属偏光フィルムなどがあるが、いずれも用いることができる。多ハロゲン偏光フィルムは2色性物質にヨウ素を用いているために可視光領域全般についてフラットな特性を有する。また染料偏光フィルムは偏光性能はヨウ素より劣るが、熱、光、温度等に対する耐性に優れている。

【0038】

本発明の磁気光学素子には、偏光・磁性層に画像を書き込む（記録する）ために磁気ヘッドが用いられる。そして磁気ヘッドを磁気光学素子の上または下に配設して用いることにより、従来の磁気テープや磁気ディスク等の磁気メモリーに記録するときのような磁気メモリーの高速での移動を行わずに、画像を偏光・磁性層に書き込むことができる。

【0039】

磁気ヘッドとしては、磁気ヘッドアレイ、例えば、軟磁性体の細線に銅細線を巻き磁気ヘッドとし、その磁気ヘッドを格子状に配列した磁気ヘッドアレイを用いることができる。このような磁気ヘッドアレイにおいては、軟磁性体の細線の直径は100μm程度、銅細線の直径は20μm程度で磁気ヘッドの間隔は50μm程度でよい。銅細線の巻き線は2本とし、1本は記録のための直流電流用である。もう1本は励磁のための交流電流用で、この場合磁界の検出には、直流電流用の巻き線が用いられる。

【0040】

磁気ヘッドアレイとしては、この他に、軟磁性体のコア部をメッキ法で作り、コイル部をフォトリソグラフィー法で作製したものや、軟磁性体のコア部とコイル部を全てメッキ法で作製したもの等があり、磁気ヘッドの大きさや間隔、巻き線の巻き方などは上記の磁気ヘッドアレイと同様である。

【0041】

図5はマイクロ磁気ヘッドの一例を示す図であり、図5(a)はマイクロ磁気ヘッドを模式的に示す断面図、図5(b)はマイクロ磁気ヘッドを模式的に示す平面図である。このようなマイクロ磁気ヘッドを格子状に配列して二次元マイクロ磁気ヘッドアレイを作製することができる。

図5において、マイクロ磁気ヘッド13は、FeNiの円形磁石14(直径 $60\mu m$)を囲むようにシリコン(Si)部材15が設けられ、そのシリコン(Si)部材15上にポリイミド樹脂16に覆われた状態で金(Au)からなるコイル17が上記円形磁石14を中心にして設けられており、コイル17は端子18で配線19に接続された構成となっている。二次元マイクロ磁気ヘッドアレイは、例えば、このようなマイクロ磁気ヘッド13を円形磁石14の中心間の間隔が $120\mu m$ となるように格子状に配列して作製することができる。

【0042】

上記のような磁気ヘッドアレイの上に本発明の磁気光学素子を配置し、コイルに流す電流を個別に制御して磁気ヘッドによって書き込みを行うことにより、磁気光学素子と磁気ヘッドアレイとの相対的な移動なく静止したままで、磁気光学素子の偏光・磁性層に画像を書き込むことができる。またこのようにして画像が記録された磁気光学素子は、そのまま、或いは一対のフィルム偏光子で挟み、これに可視光を当てることにより画像を可視化して、例えばディスプレイとして画像を見ることができる。本発明の磁気光学素子は、印加磁界強度に対する分解能がよく、印加磁界強度の僅かの差でも画像のコントラストとして可視化することができる。

【0043】

磁気ヘッドとしては、磁気ヘッドアレイのほかに、円筒状の永久磁石を有する磁気ペンも、最も簡便なタイプの磁気ヘッドとして用いることができる。

磁気光学素子に記録された画像は、永久磁石の直流磁界に近づけた後遠ざけるか、または交流磁界を印加すること、或いは記録磁界とは逆方向に磁化すること等により、消去することができる。

【0044】

図6は、本発明の磁気光学素子をディスプレイとして使用する場合において、2次元マイクロ磁気ヘッドアレイを用いて情報の書き込み消去を行う装置の構成の一例を示す説明図である。

図6において、2次元マイクロ磁気ヘッドアレイ20の上に本発明の磁気光学素子21が配置されている。2次元マイクロ磁気ヘッドアレイ20は上記図5に示すマイクロ磁気ヘッドが格子状に配列されたものであり、マイクロ磁気ヘッドアレイ20には行方向の選択を行うアドレス回路22と選択された行内の各ヘッドに電流を流し情報を書き込む、或いは情報を消去するためのドライバ回路23が接続されている。そして、これらの回路には情報の書き込み或いは消去を制御するためのコントローラ24（パソコンやPDA）が接続されている。

【0045】

書き込みを行いたい情報は外部記憶装置25あるいは通信26を介してコントローラ24内部のCPU27に取り込まれ順次メモリ28に記憶される。書き込みを行うときはメモリ28から情報が読み出され、順次CPU27を介して、前記ドライバ回路23とアドレス回路22に情報が渡され、2次元マイクロ磁気ヘッドアレイ20におけるマイクロ磁気ヘッドにより磁気光学素子に情報が書き込まれる。

【0046】

また情報の消去は、例えば、情報を書き込むときは逆方向に電流を流し記録磁界とは逆方向に磁化することにより行うことができる。

このようにして、磁気光学素子と磁気ヘッドアレイとの相対的な移動なく静止したままで、磁気光学素子に画像情報を書き込みまた消去することができ、これに可視光を当てることにより画像を可視化して、例えばディスプレイとして画像を見ることができる。

【0047】

なお、図6に示す装置の場合、磁気光学素子とマイクロ磁気ヘッドアレイとの相対的な移動はなく、従って、情報の磁気光学素子への書き込みは図5に示すコイルを持つマイクロ磁気ヘッドにより行うことができるが、磁気光学素子に書き込まれた磁気情報は磁束の時間的変化がないので図5に示すようなマイクロ磁気

ヘッドでは磁気情報を読み取ることができない。

【0048】

そこで、磁気光学素子に記録された磁気情報を読み取る必要がある場合には、例えば、磁気抵抗効果を持つ薄膜を用いた読み取り用ヘッドを用いればよい。図7はこのような読み取り用ヘッドの一例を模式的に示す図であり、図7(a)はその断面図、図7(b)はその平面図である。図7において、読み取り用ヘッドはNi、Co、Fe、Cu等の合金あるいは酸化物の薄膜を積層することにより得られる磁気抵抗膜29とその抵抗を測るために配線30が基板31に設けられた構成からなっている。

【0049】

この読み取り用ヘッドによれば、磁気光学素子に保持されている磁化の磁束により磁気抵抗膜の抵抗が変化し、記録されている情磁気情報を読みとくことができる。したがって、図6に示す装置において、図5に示すマイクロ磁気ヘッドと図7に示す読み取り用ヘッドとを対にしてアレイ状に並べた2次元マイクロ磁気ヘッドアレイを用いることにより、情報の書き込み及び読み取りを行うことができる。情報の読み取りは、読み取り用ヘッドにおける磁気抵抗膜の抵抗値をドライバ回路で読みとり、その情報がCPUに送られることにより行われ、その情報はメモリに蓄えられる。

【0050】

図8は一次元のマイクロ磁気ヘッドアレイ32を用いて情報の書き込み、及び情報の読み取りを行う装置の構成の一例を模式的に示す説明図である。CPU27はモーター駆動制御装置を介してモータ33を動かし、磁気光学素子21をマイクロ磁気ヘッドアレイ32に対して相対的に移動させる。モータ33にはデコーダ34も設けられていて回転速度の精密な制御を行うことができる。この場合、磁気光学素子と磁気ヘッドアレイ32との間に相対的な移動が生じるので、2次元のマイクロ磁気ヘッドアレイの場合と異なり、読み取り用のヘッドを特に設ける必要はなく、図5に示すマイクロ磁気ヘッドを情報の記録および再生の両方に用いることができる。

【0051】

また、図には示さなかったが、少數のマイクロ磁気ヘッドを持つマイクロ磁気ヘッドアレイを、プリンタの印字ヘッドと同様に磁気光学素子の縦方向と横方向の両方向に移動させる（主走査と副走査を行う）ことにより、磁気光学素子に対して情報の書き込みと読み取りを行うことも可能である。

【0052】

図9は本発明の磁気光学素子をディスプレイとして使用する場合において、コントラストが発現する様子を模式的に示す説明図である。

図9の磁気光学素子は、可視光に対して透明な基板1、その基板の一方の表面上に設けられた直線状で且つ互いに平行な多数の凹形の溝、その溝の側壁面に形成された強磁性体薄膜を有する偏光・磁性層5、および基板の他方の面に設けられた光反射膜6からなっており、強磁性体薄膜は磁化部4X、非磁化部4Yを有している。

【0053】

光11Aは円偏光であり、強磁性体薄膜の磁化部4Xを有する偏光・磁性層5を通り抜けてきた光11Bは偏光面が回転している直線偏光である。光11Bは光反射層6で反射され、この反射された光11Cは再び強磁性体薄膜の磁化部4Xを有する偏光・磁性層5を通過する。ここで、光11Cは偏光面が回転しているので、強磁性体薄膜の磁化部4Xを有する偏光・磁性層5（検光子となる）を通過することができない。一方、光12Aも円偏光であり、非磁化部4Yを有する偏光・磁性層5を通り抜けてきた光12Bは直線偏光であるが、光反射層6で反射された光12Cは偏光面が回転していない。非磁化部4Yでは直線偏光は検光子となる偏光・磁性層5と偏光面が合っているので通過できる。なお、光の通過の程度は強磁性体薄膜の磁化の程度に依存している。

【0054】

このようにして、強磁性体薄膜の磁化部は暗く見え、非磁化部は明るく見える。

この現象を有する磁気光学素子は偏光子を兼ねることができ、また、所望の磁化部を形成しこれに光をあてて色々な可視像をつくり、変化させ、消去させることができますため、バックライトを必要としないディスプレイにも応用することができます。

できる。

【0055】

さらに、本発明の磁気光学素子は空間光変調素子としても利用することができる。例えば、内径が $100\mu m$ 程度の空芯コイルを格子状に配列して個別に電流を流せるようにし、これを、例えば図1に示す本発明の磁気光学素子に近接して配設し、更に1対の偏光子で磁気光学素子を挟み各空芯コイルに流す電流を個別に制御することにより、空間光変調素子として利用することができる。すなわち、磁気スピンのコイル磁界による方向変化は数ナノ秒であるので、各空芯コイルに流す電流を個別に制御することにより、高速度で光を通過させたり遮蔽したりすることができ、空間光変調素子として利用することができる。

【0056】

また、本発明の磁気光学素子は、例えば、溝の側壁面に形成されている強磁性体薄膜の磁化の強さによって、磁気光学効果が異なるので磁界センサーとしても利用することができる。

【0057】

本発明の磁気光学素子は、次のような工程により作製することができる。

すなわち、(1)透明基板の表面上に、フォトリソグラフィー技術を用いて、直線状にかつ互いに平行になるように凹形の溝を多数列形成する工程、(2)上記溝が形成された透明基板上に強磁性体よりなる薄膜を形成する工程、(3)形成された強磁性体薄膜のうち凹形の溝の側壁の表面に形成された部分のみが残存するようにエッチング処理を行うことにより、細線状の強磁性体薄膜を形成する工程、(4)必要により、凹形の溝が埋まるようにスパッタリングなどにより基板上に無機材料などの皮膜を形成し、基板表面が平滑になるように研磨する工程、(5)必要により、磁気光学素子の透明基板の一方の面に光反射膜を形成する工程、または別の透明基板上に形成した光反射層を磁気光学素子の透明基板の一方の面に張り合わせる工程、(6)必要により、光反射膜が設けられている面とは反対側の面に光反射防止膜を形成する工程、により作製することができる。

【0058】

図10は、本発明の磁気光学素子を製造する工程の一例を示す説明図である。

まず、透明基板1にレジスト膜9を積層し(a)、レジスト膜9上に等間隔の互いに平行な多数の直線状の細線パターンを有するフォトマスクを配置してUV光を露光し、ついでウェットエッティングしてレジスト膜9を一定の等しい幅11及び間隔12になるようにパターン化し(b)、透明基板1を特定の深さにエッチングして凹形の溝3を形成し(c)、次いでレジスト膜9を剥離する(d)。

【0059】

このようにして溝3の側壁面を比較的容易に加工面に対して垂直に深く(10μmくらいまで)形成することができる。また、このリソグラフィー法を使用すれば、直線性のきれいな細線状の凹形の溝を形成することができる。

透明基板として透明プラスチックフィルムを用いる場合には、透明プラスチックフィルム上に例えばSiO₂薄膜をPVD法で製膜し、このSiO₂薄膜表面に凹形の溝を形成するようにしてもよい。

【0060】

次に、この凹形の溝が形成された透明基板上に強磁性体からなる薄膜4を形成する(e)。この薄膜の形成方法としては、PVD法もしくはCVD法や、メッキ法が好適に採用されるが、特に製法が制限されるものではない。

次いで、形成された強磁性体薄膜4のうち基板表面に平行な部分をArイオン10によるエッティング(湿式、乾式を問わないが、基板側に逆バイアス電圧を印加して逆スパッタ法によるのが好ましい)で除去する(f)ことにより、凹形の溝の側壁面に残存した強磁性体薄膜4による細線を形成することができる(g)。

【0061】

次に、別の透明基板1Aの片面に光反射層を形成し、この光反射層付き基板の光反射層面と透明基板1の強磁性体薄膜4による細線が形成されている面とを張り合わせ、本発明の磁気光学素子を得ることができる(h)。

【0062】

【実施例】

次に実施例をあげて本発明をさらに具体的に説明する。

【0063】

実施例 1

1 mm 厚の石英基板の片面に、合計で 120 nm の厚さとなるように Cr₂O₃ 膜ついで Cr 膜の 2 層を設け、更に、その上にポジ型レジスト膜を設けた。

このレジスト膜上に、互いに平行な多数の直線状の細線パターンを有するフォトマスクを配置し、UV 光を用いてレジスト膜上に図 1 において L₁ = L₂ = 1.0 μm となるように多数の直線状の細線パターンを露光し、ついでウェットエッチング手法を用いて上記レジスト膜をエッチングし、更にフッ素系ガスを用いて石英基板表面をニッティングして、深さ（図 1 における H）が 0.65 μm の細線状の凹形の溝を形成した。ついでレジスト膜および Cr₂O₃ 膜と Cr 膜を剥離した。

【0064】

次に、ガス中蒸着法を用いて、上記石英基板の凹形の溝が形成された面上に、石英基板を加熱しないで、鉄微粒子膜を蒸着した。使用した Ar ガスは 50 CC M の流量で流し、全圧力で 1.0 Pa とした。このようにして形成された鉄微粒子膜の平均膜厚は 90 nm であった。

【0065】

透過型電子顕微鏡を用いて鉄微粒子膜における鉄微粒子の粒子径を測定したところ、鉄微粒子の平均粒子径は 6 nm であった。また、X 線光電子分光法（XPS）で測定した鉄微粒子膜の組成は、66% が鉄であり、その他は酸素、炭素、窒素であった。また、平坦部（上記鉄微粒子膜の形成時に石英基板面と同一平面に置いた石英基板上に形成された鉄微粒子膜）で測定した保磁力は 320 エルステッド、面内方向の角型比は 0.80 で、面内磁気異方性を有した膜であった。

【0066】

次いでスパッタ装置を用いて、基板側に -400 V を印加し、Ar ガスを導入して逆スパッタ法により基板表面に平行な部分（図 1 における 2a 面、2b 面）の鉄微粒子膜を除去し、凹形の溝の側壁面（図 1 における側壁面 2）のみに鉄微粒子膜を残して細線状の鉄微粒子膜を形成した。

【0067】

この石英基板の細線状の鉄微粒子膜が形成されている面と反対側の面に反射防

止膜としてMgF₂ ($n = 1.38$) の膜を真空蒸着法によって100 nmの厚さになるように設けて磁気光学素子を作製した。この反射防止膜によって可視光域の光の反射率は3%程低下した。

【0068】

直線状でかつ互いに平行な細線状の強磁性体薄膜に対して電気ベクトルの方向が垂直な場合をS偏光、平行な場合をP偏光とすると、以上のようにして作製した磁気光学素子のS偏光透過率(T_1)は波長600 nmにおいて50%以上であり、P偏光透過率(T_2)は波長600 nmにおいて4%以下であった。また、偏光度[$(T_1 - T_2) / (T_1 + T_2)$]は波長600 nmにおいて86%であった。この数値は得られた磁気光学素子が偏光子としても有用であることを裏付けるものである。

【0069】

上記磁気光学素子の反射防止膜を有する面から直径1 mmの円筒状棒磁石で文字を描いて細線状の鉄微粒子膜に磁化部を形成した。この磁気光学素子を一対のフィルム偏光板で挟み可視化を試みたところ、磁化部はファラデー回転した直線偏光がフィルム偏光板を通過することができずに黒く見え、一方非磁化部は偏光面の回転がないため直線偏光がフィルム偏光板を通過し明るく見えコントラストの明確な文字を読むことができた。

【0070】

更に、別の石英基板(厚さ1 mm)にAl膜(厚さ200 nm)を真空蒸着法で設け、上記一対のフィルム偏光板のうちの石英基板の細線状の鉄微粒子膜が形成された面側のフィルム偏光板に代えて、Al膜側を上記石英基板の細線状の鉄微粒子膜が形成された面側に張り合わせて光反射膜を設け、上記と同様に円筒状棒磁石で文字を描くことにより、光反射膜からの反射光によるコントラストの良い文字を読むことができた。

【0071】

実施例2

実施例1のガス中蒸着法の代わりに、スパッタ法を用いてターゲットをBi₂Gd₁Fe₄Al₁O₁₂とし、基板温度を300°Cとした以外は実施例1と同様に

して、凹形の溝の側壁面に細線状の酸化物磁性体薄膜を厚さ 57 nm となるよう設けた。ついで 650 °C で 3 時間加熱した後、平坦部で測定した保磁力は 540 ニルステッドであった。

【0072】

次に、基板の凹形の溝が形成されている面に Ge 膜をスパッタ法で基板加熱なしで厚さ 80 Å となるように形成（スパッタ圧力 $6.7 \times 10 - 3$ torr、投入電力 200 W）した後、実施例 1 と同様な逆スパッタ法により Ge 膜を側壁面上の酸化物磁性体膜上にのみに残して磁気光学素子を作製した。

この磁気光学素子を用い実施例 1 と同様にして円筒状棒磁石で文字を描き可視化したところ、コントラストの良い文字を読むことができた。Ge 膜を設けない場合には文字が観察できなかった。

【0073】

実施例 3

0.5 μm 厚のシリコンウェハ上にフォトリソグラフィー法を用いて、図 5 に示すようなマイクロ磁気ヘッド 13 を格子状に並べたマイクロ磁気ヘッドアレイを作製した。マイクロ磁気ヘッド 13 は、FeNi の円形磁石 14（直径 60 μm）を囲むようにシリコン（Si）部材 15 が設けられ、そのシリコン（Si）部材 15 上にポリイミド樹脂 16 に覆われた状態で金（Au）からなるコイル（7 回巻き）17 が上記円形磁石 14 を中心にして設けられた構成となっている。マイクロ磁気ヘッドアレイは、このようなマイクロ磁気ヘッド 13 を円形磁石 14 の中心間の間隔が 120 μm となるように格子状に並べた構成となっている。

【0074】

上記マイクロ磁気ヘッドアレイを実施例 1 で作製した磁気光学素子の反射防止膜上に配設し、各マイクロ磁気ヘッドごとにコイルに流す電流を制御して文字を描き細線状の鉄微粒子膜に磁化部を形成した。この磁気光学素子を一対のフィルム偏光板で挟み可視化を試みたところ、磁化部はファラデー回転した直線偏光がフィルム偏光板を通過することができずに黒く見え、一方非磁化部は偏光面の回転がないため直線偏光がフィルム偏光子を通過し明るく見えコントラストの明確な文字を読むことができた。

【0075】

このようにマイクロ磁気ヘッドアレイを用い、アレイ内の各マイクロ磁気ヘッドごとにコイルに流す電流を制御することにより、磁気光学素子と磁気ヘッドアレイとの相対的な移動なく静止したままで、磁化部を形成して画像を記録することができ、また可視化することができる。また画像の記録および消去を行うことにより移動画像を可視化することもできる。さらに、交流の励磁コイルと直流電流用のコイルを併用すれば、磁気画像の検出も可能である。

【0076】

比較例1

表面が平滑な石英基板上に、ガス中蒸着法によって、厚さ67nmの鉄の連続膜を蒸着し鉄磁性層を形成した。この鉄磁性層における可視光の透過率は40%以下で、目視では黒い膜であり、可視画像を得ることはできなかった。

【0077】

比較例2

実施例2におけるスパッタ法と同様にして、1mm厚の表面が平滑な石英基板上に、酸化物磁性体の連続膜を100nmと900nmの厚さで形成した。酸化物磁性体の連続膜は、厚さ100nmのもの及び厚さ900nmのもの共に黄色の膜で赤色光で80%程度の透過率が得られたが、波長500nm以下の波長の短い光では30%以下の透過率であった。実施例2と同様に円筒状棒磁石で磁化した後、市販のフィルム偏光板2枚ではさんで可視化を試みた。酸化物磁性体の連続膜の厚さが100nmでは像が見えず、900nmでは像は観察できたが、光透過率が低いため、反射タイプの場合（透明基板の一方の面に光反射膜が設けられている磁気光学素子の場合）には像が観察できなかった。

【0078】

【発明の効果】

請求項1、2および3の磁気光学素子によれば、可視光に対して透明な基板に、幅5~100nm、高さ0.1~5μmの細線状の強磁性体薄膜が0.2~2μmの等間隔で直線状にかつ互いに平行になるように基板の水平方向に複数列設けかれていることから、高い光透過率と磁気光学効果による大きな偏光機能が同

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の磁気光学素子の一例を模式的に示す拡大断面図である。

【図 2】

図 1 の磁気光学素子を模式的に示す拡大平面図である。

【図 3】

本発明の磁気光学素子の他の例を模式的に示す拡大断面図である。

【図4】

非磁性半導体膜あるいは非磁性金属膜を設けた強磁性体薄膜の一例を模式的に示す拡大断面図である。

【図5】

マイクロ磁気ヘッドアレイに用いるマイクロ磁気ヘッドの一例を模式的に示す断面図及び平面図である。

【図6】

2次元マイクロ磁気ヘッドアレイを用いて磁気光学素子に情報の書き込み消去を行う装置の構成の一例を示す説明図である。

【図7】

読み取り用ヘッドの一例を模式的に示す断面図及び平面図である。

【図8】

一次元のマイクロ磁気ヘッドアレイを用いて磁気光学素子に情報の書き込み、及び情報の読み取りを行う装置の構成の一例を模式的に示す説明図である。

【図9】

本発明の磁気光学素子をディスプレイとして使用する場合において、コントラストが発現する様子を模式的に示す説明図である。

【図10】

本発明の磁気光学素子を製造する工程の一例を示す説明図である。

【符号の説明】

- 1 可視光に対して透明な基板
- 2 凹形の溝の側壁面
- 3 直線状にかつ互いに平行になるように複数列設けられた凹形の溝
- 4 強磁性体薄膜
- 4 A 酸化物磁性体薄膜
- 4 X 強磁性体薄膜の磁化部
- 4 Y 強磁性体薄膜の非磁化部
- 5 偏光・磁性層

- 6 光反射膜
- 7 光反射防止膜
- 8 非磁性半導体膜あるいは非磁性金属膜
- 9 レジスト膜
- 10 A r イオン
- 11 A 円偏光
- 11 B 磁化部 4 X を有する偏光・磁性層を通り抜けてきた光
- 11 C 光反射層で反射された光
- 12 A 円偏光
- 12 B 非磁化部 4 Y を有する偏光・磁性層を通り抜けてきた光
- 12 C 光反射層で反射された光
- 13 マイクロ磁気ヘッド
- 14 円形磁石
- 15 シリコン部材
- 16 ポリイミド樹脂
- 17 コイル
- 18 端子
- 19 配線
- 20 2 次元マイクロ磁気ヘッドアレイ
- 21 磁気光学素子
- 22 アドレス回路
- 23 ドライバ回路
- 24 コントローラ
- 25 外部記憶装置
- 26 通信
- 27 C P U
- 28 メモリ
- 29 磁気抵抗膜
- 30 配線

3 2 一次元のマイクロ磁気ヘッドアレイ

3 3 モータ

3 4 デコーダ

【書類名】 要約書

【要約】

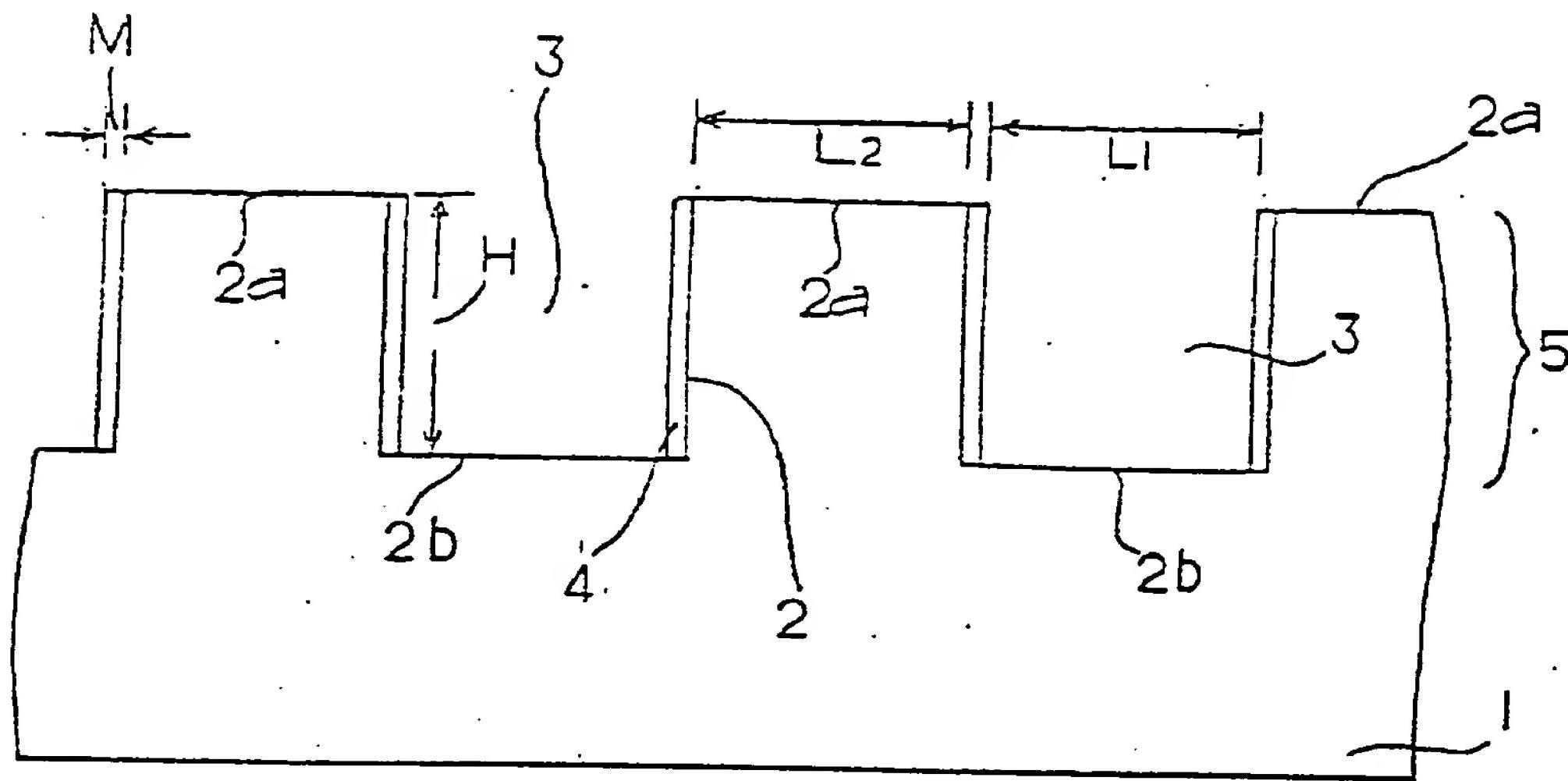
【課題】 磁気ヘッドによって記録、読み出し（記録の再生）、記録の消去を行うことができ、偏光子としても用いることが可能であり、また磁場と光を与えることによって画像を可視化できるディスプレイ等として応用しうる磁気光学素子を提供する。

【解決手段】 可視光に対して透明な基板に、幅 $5 \sim 100 \text{ nm}$ 、高さ $0.1 \sim 5 \mu\text{m}$ の細線状の強磁性体薄膜が $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$ の等間隔で直線状にかつ互いに平行になるように複数列形成されていることを特徴とする磁気光学素子。強磁性体薄膜が、可視光に対して透明な基板の表面に直線状にかつ互いに平行になるよう複数列設けられた凹形の溝の側壁面に形成されている。

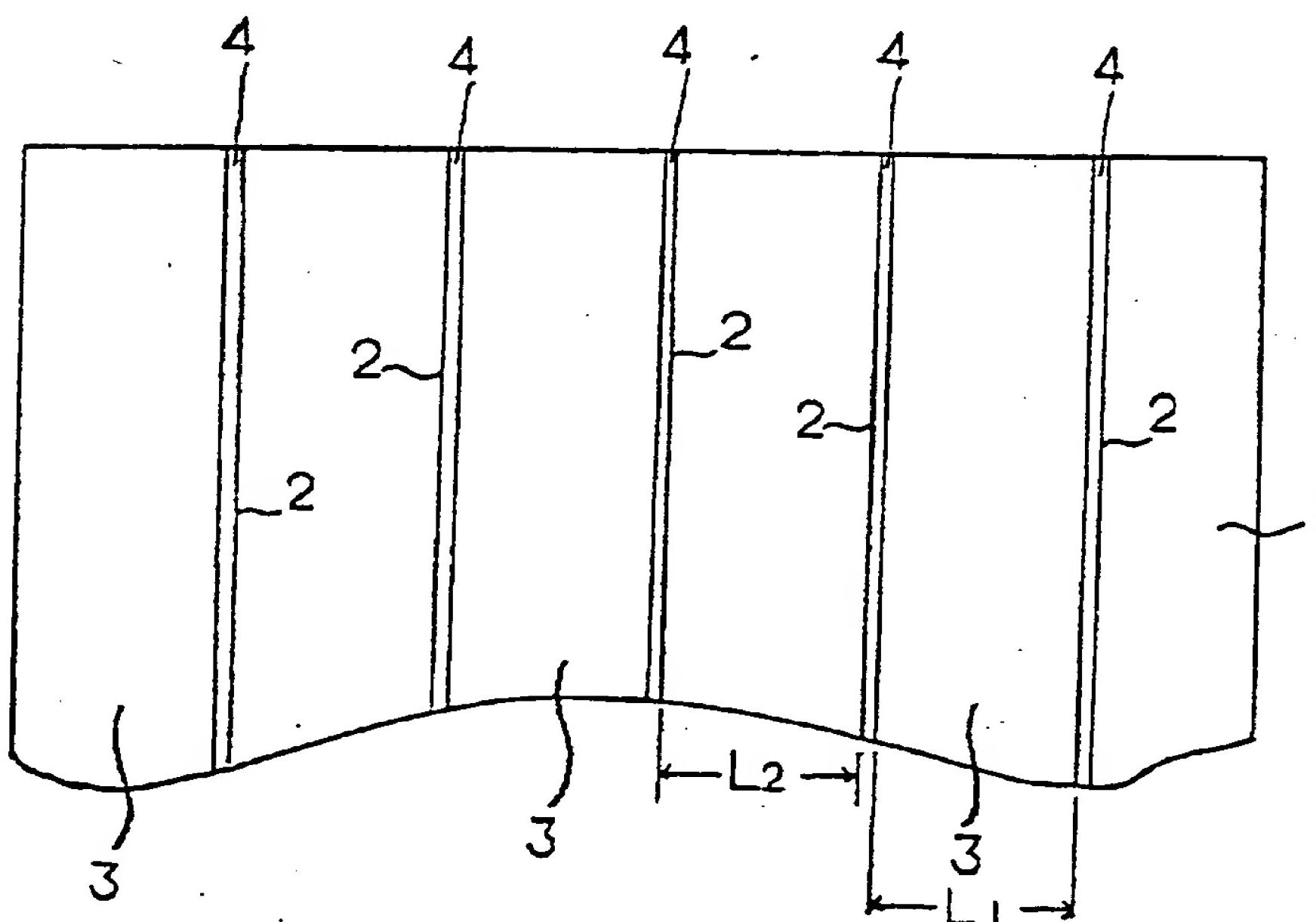
【選択図】 図 1

【書類名】 図面

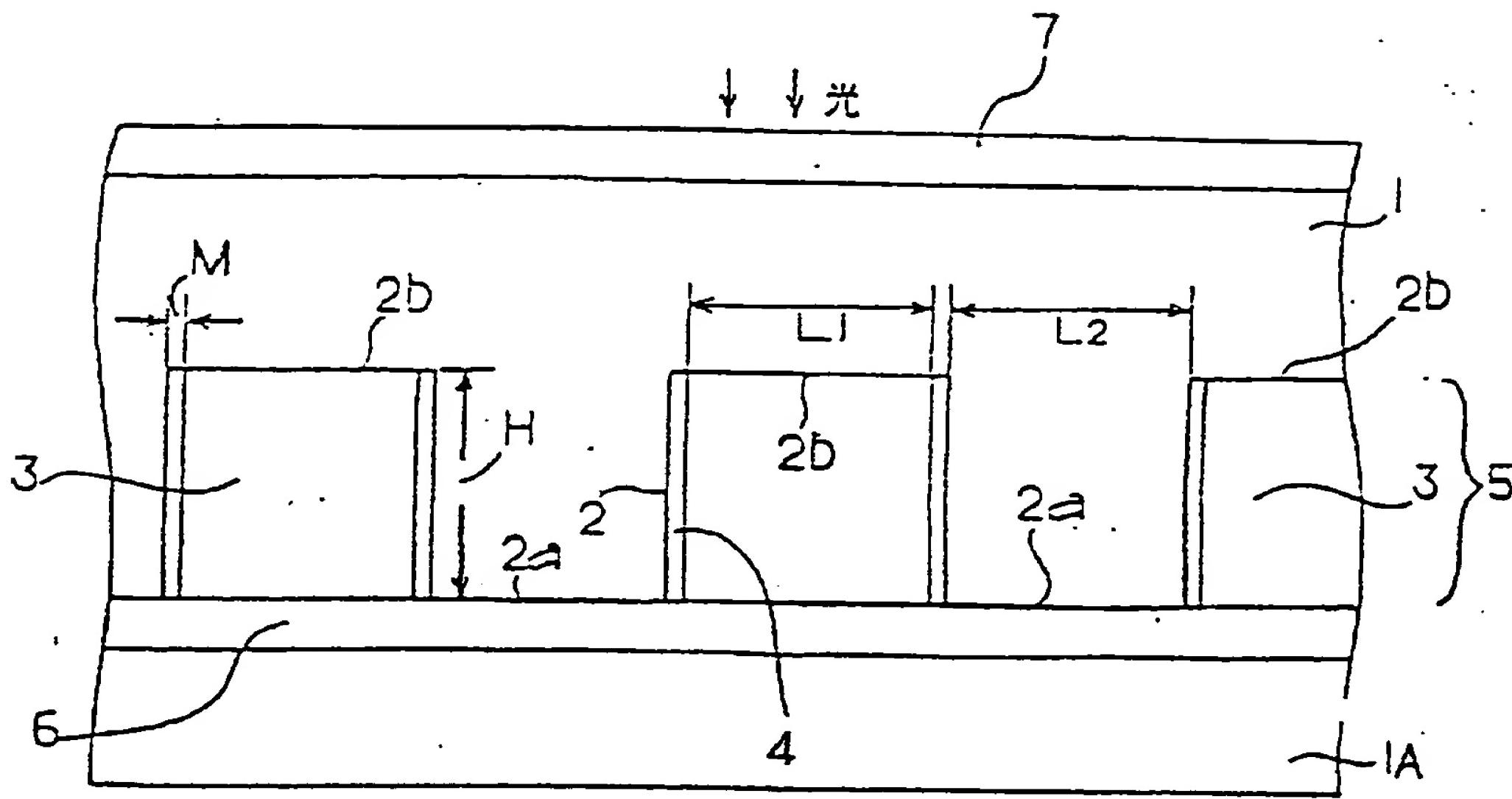
【図 1】



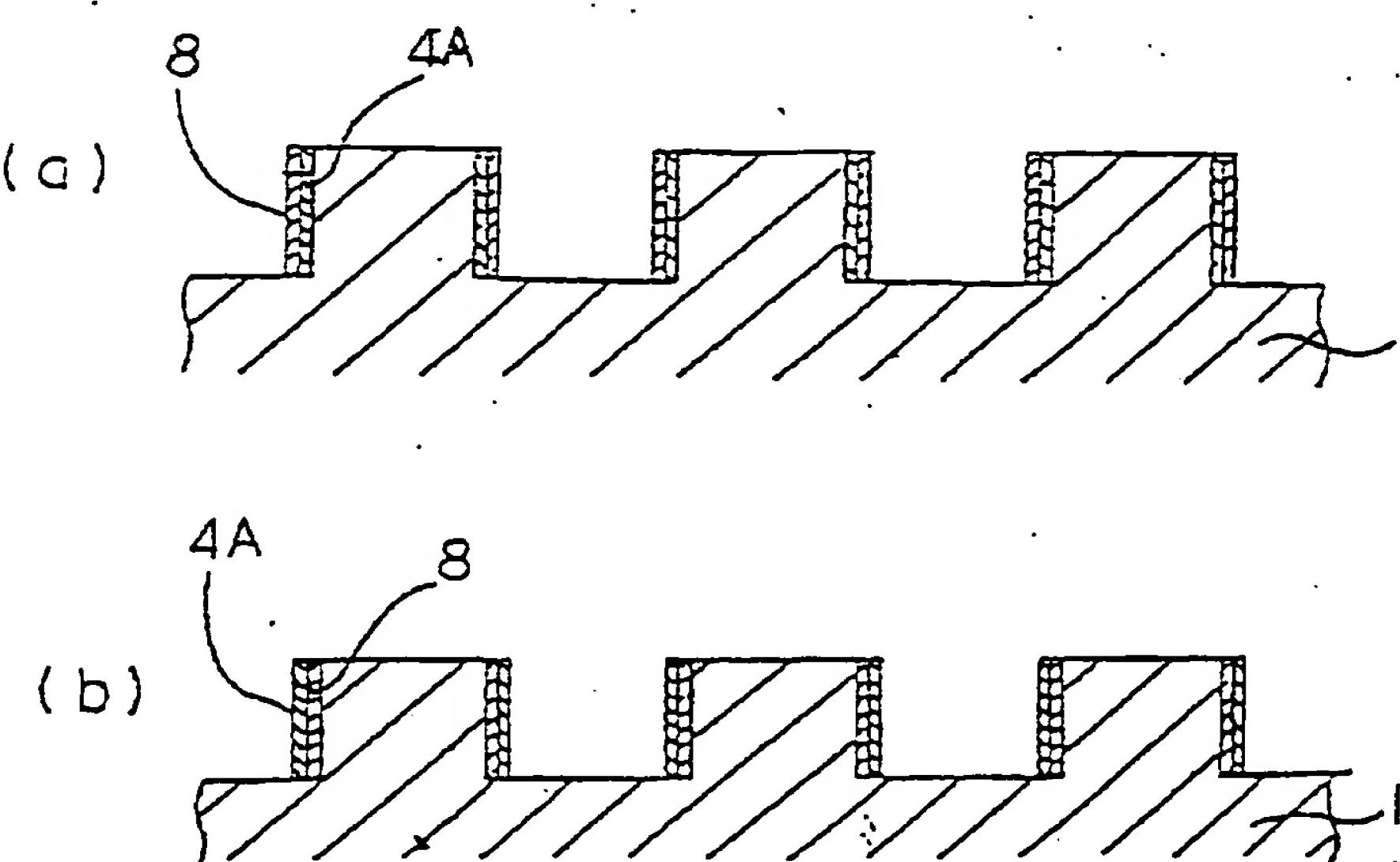
【図 2】



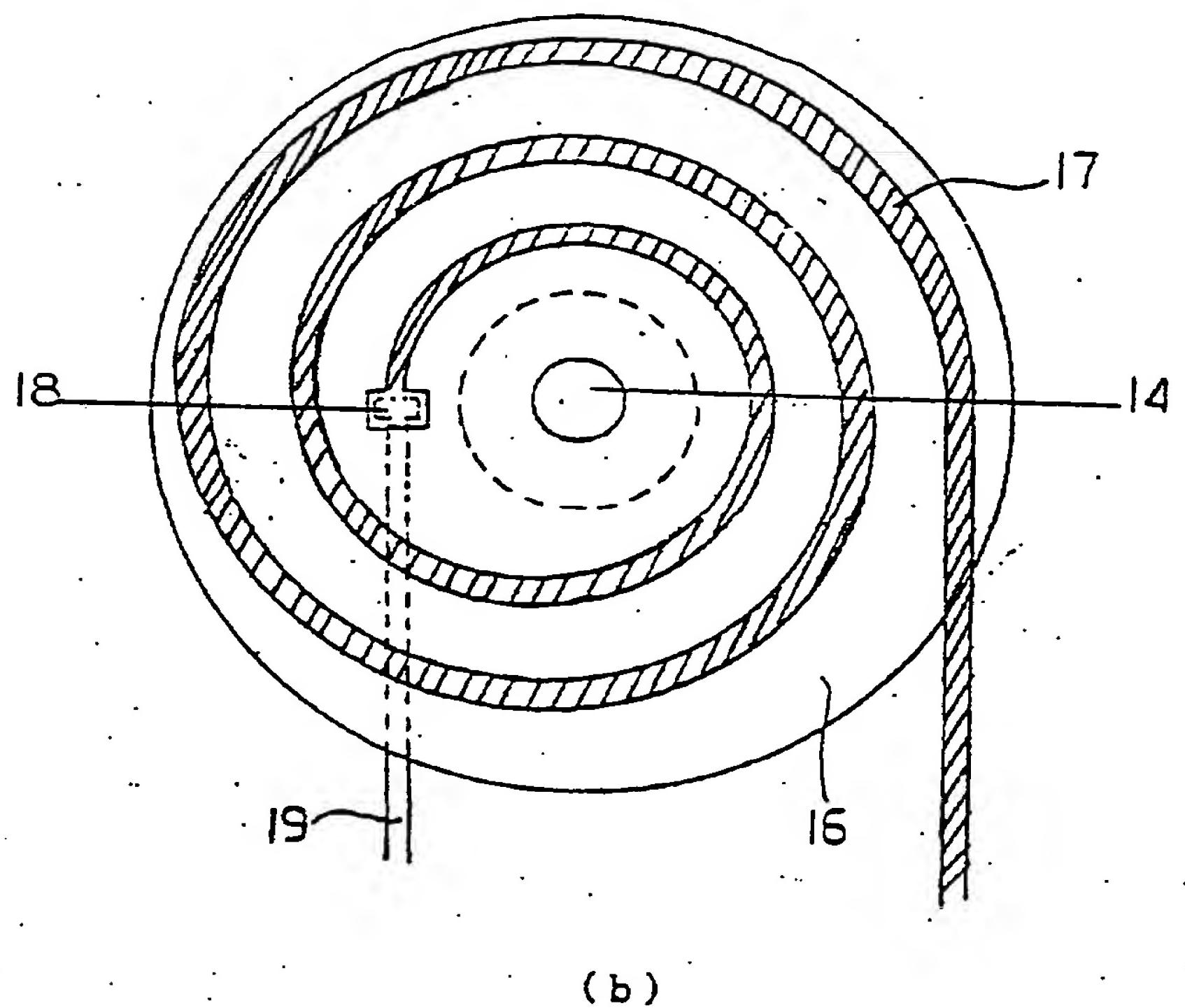
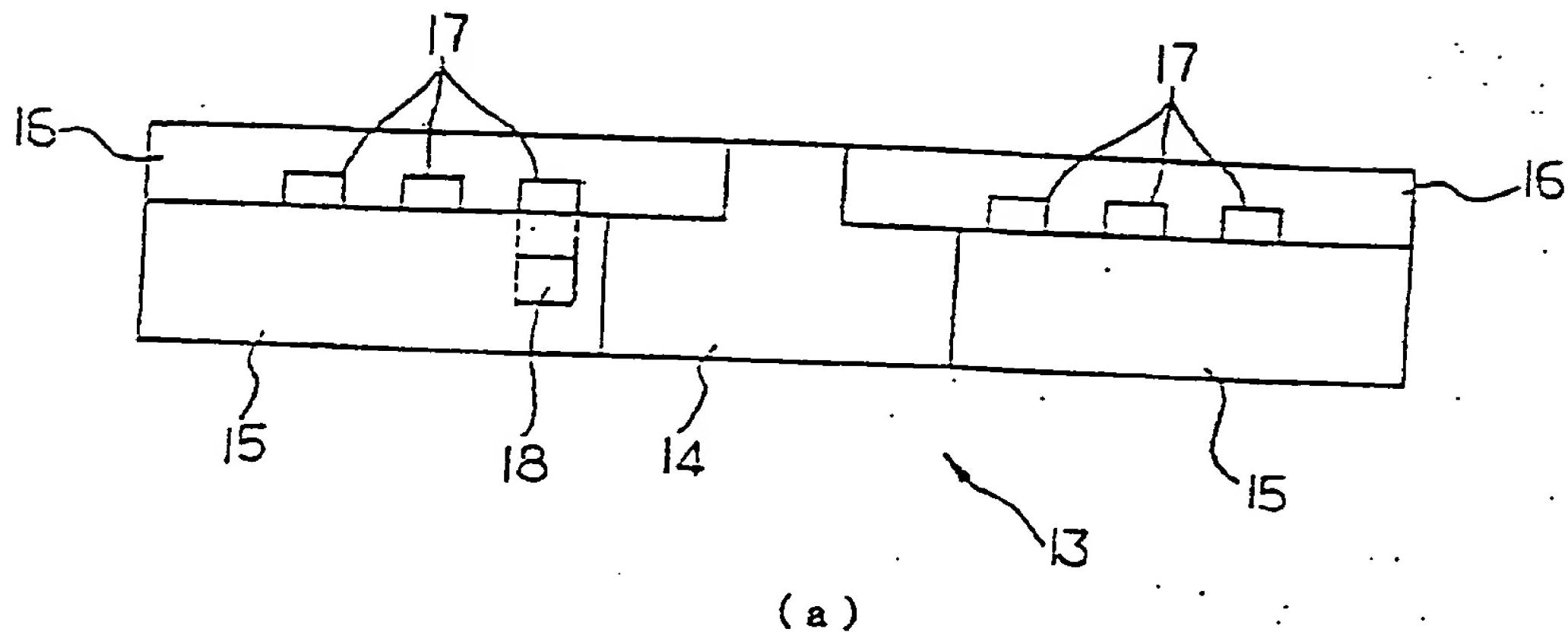
【図 3】



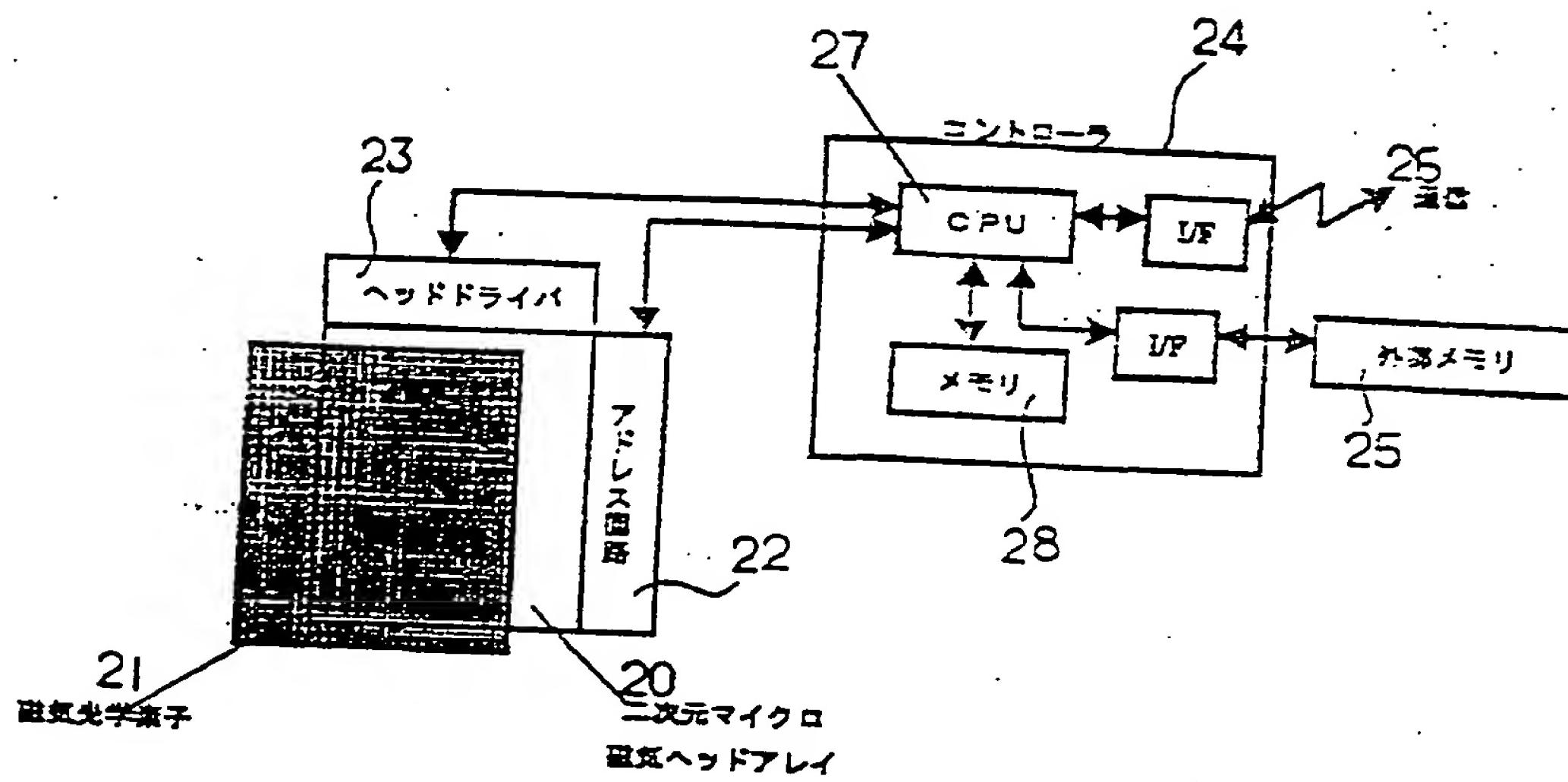
【図 4】



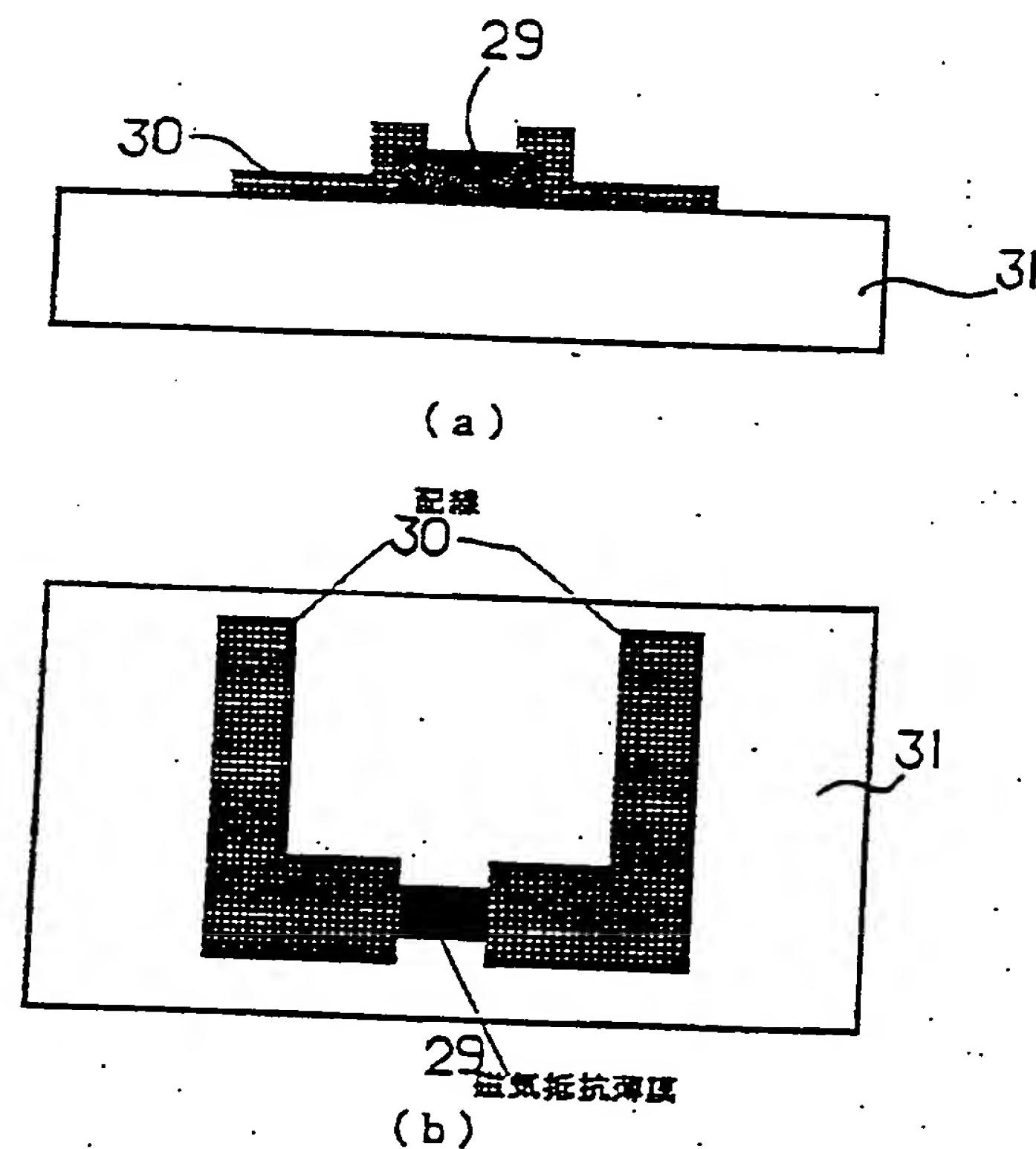
【图 5】



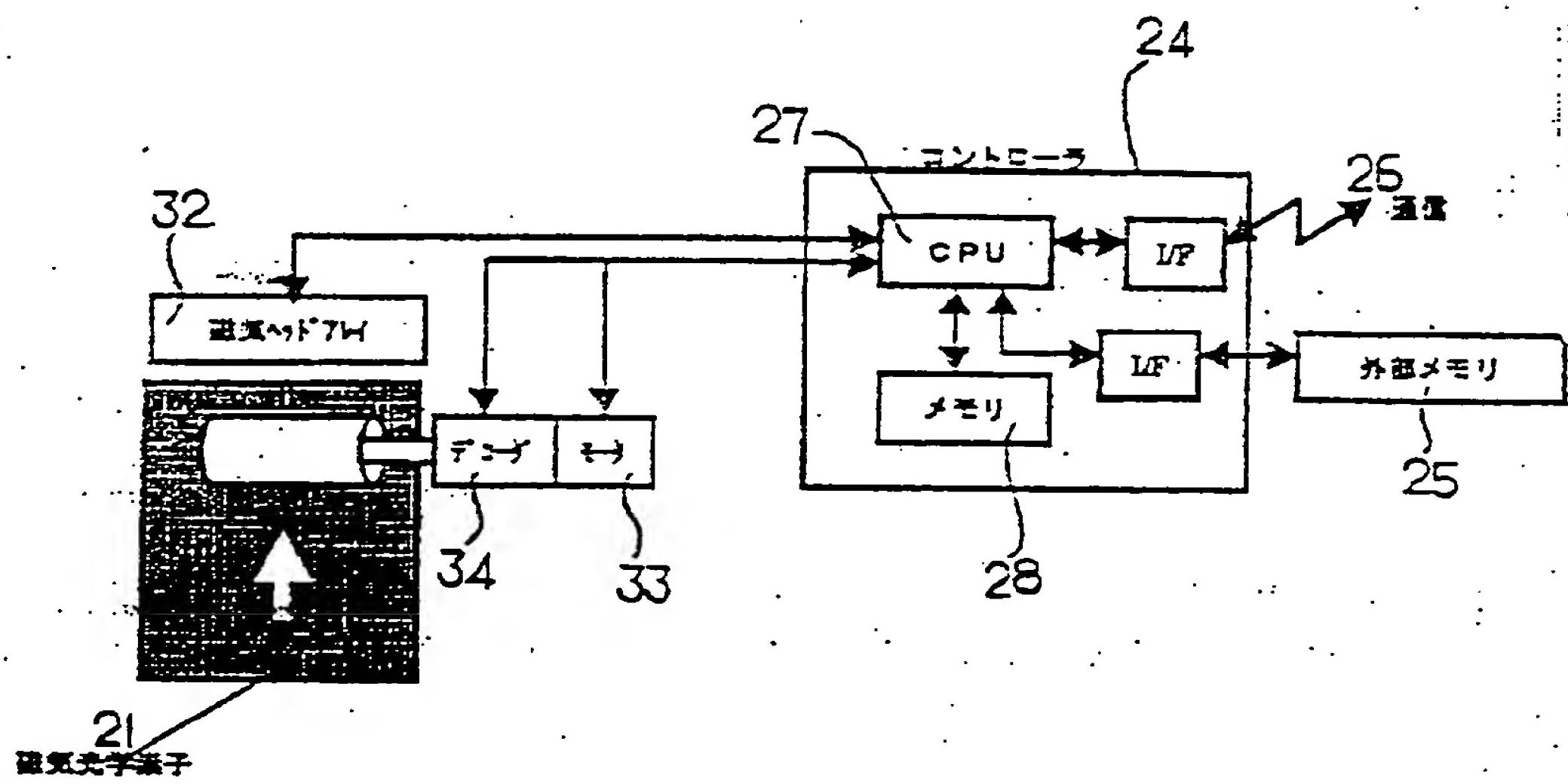
【図 6】



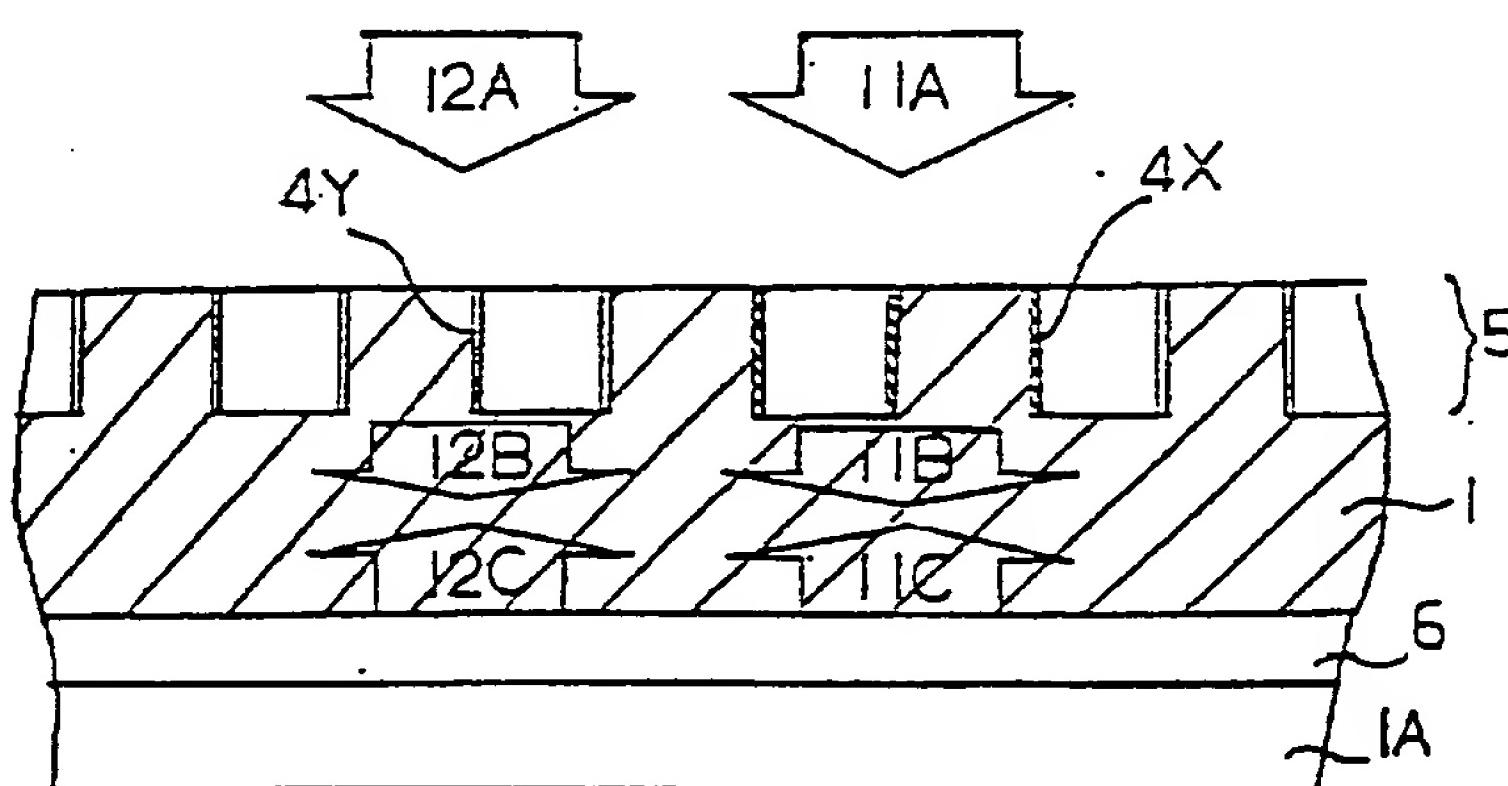
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【図10】

